

2001-244519

Abstract of JP2001244519

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a method of easily manufacturing, at low cost, a piezoelectric element having higher characteristics, an excellent junction strength between piezoelectric material and electrode and higher reliability.

SOLUTION: In the method of manufacturing piezoelectric elements comprising piezoelectric material and electrodes provided on this material, the Cu electrode is used as electrodes and Cu electrode and piezoelectric material are bonded directly under the contact condition by holding these elements in the range of 500 to 700 deg.C.

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-244519

(P2001-244519A)

(43) 公開日 平成13年9月7日(2001.9.7)

(51) IntCl. ⁷	識別記号	F I	テマコード(参考)
H 0 1 L 41/22		C 0 4 B 37/02	Z 4 G 0 2 6
C 0 4 B 37/02		H 0 1 L 41/22	Z
H 0 1 L 41/187		41/18	1 0 1 D
			1 0 1 B

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 6 頁)

(21) 出願番号 特願2000-55784(P2000-55784)

(22) 出願日 平成12年3月1日(2000.3.1)

(71) 出願人 000003609
株式会社豊田中央研究所
愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41番
地の1

(72) 発明者 齋藤 康善
愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41番
地の1 株式会社豊田中央研究所内

(72) 発明者 牧野 浩明
愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41番
地の1 株式会社豊田中央研究所内

(74) 代理人 100079142
弁理士 高橋 祥泰 (外1名)

最終頁に続く

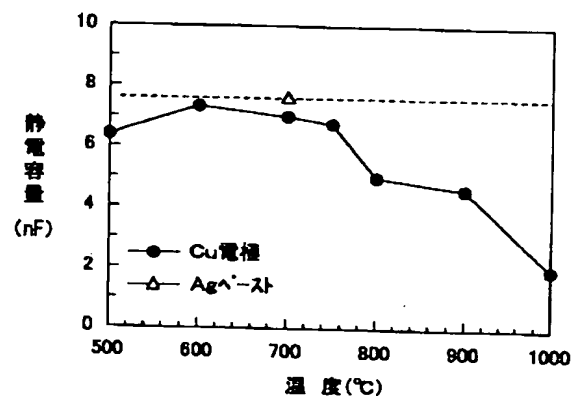
(54) 【発明の名称】 圧電素子の製造方法

(57) 【要約】

【課題】 高い特性を持ち、圧電材料と電極との接合強度に優れて信頼性が高く、製作コストが安価で製作容易である圧電素子の製造方法を提供すること。

【解決手段】 圧電材料と該圧電材料に設けた電極とよりなる圧電素子を製造する方法であって、上記電極としてはCu電極を用い、該Cu電極と上記圧電材料とを接触させた状態で500～700℃の温度範囲に保持することにより両者を直接接合する。

(図1)



【特許請求の範囲】

【請求項1】 圧電材料と該圧電材料に設けた電極とよりなる圧電素子を製造する方法であって、上記電極としてはCu電極を用い、該Cu電極と上記圧電材料とを接触させた状態で500～700℃の温度範囲に保持することにより両者を直接接合することを特徴とする圧電素子の製造方法。

【請求項2】 圧電材料と該圧電材料に設けた電極よりなる圧電素子を製造する方法であって、上記圧電材料に対しろう材を配置し、該ろう材の融点の±100℃の温度範囲に維持することにより上記ろう材より電極を圧電材料に対し直接形成することを特徴とする圧電素子の製造方法。

【請求項3】 圧電材料と該圧電材料に設けた電極よりなる圧電素子を製造する方法であって、上記電極としては金属電極を用い、上記圧電材料に対しろう材を介して金属電極を配置し、上記ろう材の融点の±100℃の温度範囲に保持することにより上記圧電材料に上記金属電極を接合することを特徴とする圧電素子の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【技術分野】本発明は、電極と圧電材料とよりなる単層や積層型の圧電素子の製造方法に関する。

【0002】

【従来技術】圧電素子は電気的信号と力学的信号とを結ぶ変換器として広く用いられ、時計用、通信用の水晶振動子、各種フィルタ、アクチュエータ、マイクロホン等の数多くの応用がある。圧電素子は圧電効果を呈するPZT（ジルコンチタン酸鉛）等の各種圧電材料に各種電極を取り付けて構成されるが、この電極としては従来Agペースト焼きつけ電極が広く用いられてきた。また、上記圧電素子は一枚の圧電材料に電極を設けて構成した単層タイプの他、多数の圧電材料と電極とを交互に積み重ねて構成した積層タイプとが知られている。

【0003】

【解決しようとする課題】しかしながらAgペースト焼きつけ電極には次のような問題が知られている。まず、積層型の圧電素子を製作する際にAgペーストを焼きつけた各圧電材料間に別途電極用金属板を配置する必要があり、コスト高で信頼性が低かった。また、Agペースト焼きつけ電極にはBi、Zn元素等の不純物よりなるガラス成分が含まれており、焼きつけ時にこれらガラス成分と圧電材料とが互いに反応するため、スパッタ法等で形成したAu電極を利用した圧電素子と比較してd31や電界誘起変位量（実施形態例2、3参照）等の圧電素子の性能にかかわる特性が低くなりがちであった。また、スパッタ法で形成したAu電極はコストが高く、製造も面倒であった。

【0004】更に、金属/PZTの直接接合が報告されているが（H.C.Cao, M.D.Graef, and A.G.Evans: J. Am. Ceram. Soc., [12], 3019(1993)）、この時の接合温度は1050℃であり、しばしば特性の劣化が認められた。また、圧電素子の信頼性向上のためには電極と圧電材料との間に高い接合強度が必要であるが、従来技術で作製した圧電素子の接合強度は不十分であった。

【0005】本発明は、かかる従来の問題点に鑑みてなされたもので、高い特性を持ち、圧電材料と電極との接合強度に優れて信頼性が高く、製作コストが安価で製作容易である圧電素子の製造方法を提供しようとするものである。

【0006】

【課題の解決手段】請求項1に記載の発明は、圧電材料と該圧電材料に設けた電極とよりなる圧電素子を製造する方法であって、上記電極としてはCu電極を用い、該Cu電極と上記圧電材料とを接触させた状態で500～700℃の温度範囲に保持することにより両者を直接接合することを特徴とする圧電素子の製造方法にある。

【0007】本発明において最も注目すべきことは、Cu電極を用い、該Cu電極と圧電材料とを接触させた状態で500～700℃の温度範囲に保持することにより両者を直接接合することである。温度が700℃より高くなるとCu電極と圧電材料とが相互反応して圧電材料が変質するおそれがある。よって、得られた圧電素子の誘電損失が大きくなり、電圧駆動したときにロスが大きく、発熱が大きくなるおそれがある。

【0008】500℃未満である場合は、電極と圧電材料との接合強度が弱く、圧電素子の使用時に短時間で電極の剥離が生じてしまうおそれがある。なお、この問題は特に圧電素子を積層型として利用した場合、また圧電素子をアクチュエータとして利用する場合に顕著である。なお、上記Cu電極とはCuのみよりなる電極の他、Cu合金よりなる電極も指している。この場合のCu合金としては、ニッケルシルバー、リン青銅、マンガン、銅ニッケル、ベリリウム銅、真鍮等が挙げられる。

【0009】次に、本発明の作用につき説明する。この製造方法により、特に圧電材料に対し電極を直接接合することが可能となるため、積層型の圧電素子を製作する際に圧電材料間に電極用金属板等を配置する必要がなくなり、安価なコストで強度に優れた高信頼性の圧電素子を得ることができる。また、上述の温度範囲においてCu電極を直接接合しているため、Cuと圧電材料との間での相互反応を防止することができ、誘電損失が従来のAgペースト焼きつけ電極等と同等以下で、電界誘起変位量が高い等という特性に優れた圧電素子を得ることができる。

【0010】以上、本発明によれば、高い特性を持ち、圧電材料と電極との接合強度に優れて信頼性が高く、製作コストが安価で製作容易である圧電素子の製造方法を提供することができる。

【0011】なお、圧電材料の特性としては、後述の実施形態例で測定した、静電容量、誘電損失、誘電率、電気機械結合定数〔 K_p 〕、圧電電圧出力センサ定数〔 g_{33} 〕、圧力電荷センサ定数〔 d_{31} 〕、電界誘起変位量等のパラメータが挙げられる。これらパラメータの詳細は各実施形態例に記載した。

【0012】また、上記圧電材料としては、 $Pb(Zr_xTi_{1-x})O_3$ (ここで $x=0\sim1$)、 $(K_xNa_{1-x})NbO_3$ (ここで $x=0\sim1$)、 $\{Bi_xK_{(1-x)/2}Na_{(1-x)/2}\}TiO_3$ (ここで $x=0\sim1$)等を使用できる。

【0013】次に、請求項2に記載の発明は、圧電材料と該圧電材料に設けた電極よりなる圧電素子を製造する方法であって、上記圧電材料に対しろう材を配置し、該ろう材の融点の $\pm 100^\circ\text{C}$ の温度範囲に維持することにより上記ろう材より電極を圧電材料に対し直接形成することと特徴とする圧電素子の製造方法にある。温度がろう材の融点の $\pm 100^\circ\text{C}$ の範囲外である場合は、圧電材料とろう材とが反応し、両者の間に界面反応物が生成し、圧電電荷センサ定数 d_{31} (圧電ひずみ定数)や電界誘起変位量等が小さくなるおそれがある。

【0014】この製造方法により、特に圧電材料に対し電極を直接設けることが可能となるため、積層型の圧電素子を製作する際に圧電材料間に電極用金属板等を配置する必要がなくなり、安価なコストで強度に優れた高信頼性の圧電素子を得ることができる。また、ろう材はガラス成分やBi等の不純物元素を含まないため界面反応物等が生じず、大きな圧電電荷センサ定数 d_{31} (圧電ひずみ定数)や電界誘起変位量等を持つ圧電素子を得ることができる。また、上述の温度範囲においてろう材より電極を直接形成しているため、ろう材と圧電材料との反応が生じ難く界面反応物等が生じず、大きな圧電電荷センサ定数 d_{31} (圧電ひずみ定数)や電界誘起変位量等を持つ圧電素子を得ることができる。

【0015】以上、本発明によれば、高い特性を持ち、圧電材料と電極との接合強度に優れて信頼性が高く、製作コストが安価で製作容易である圧電素子の製造方法を提供することができる。

【0016】また、上記ろう材としては、例えばBAg8 (Ag 79%, Cu 21%)を用いることができる。その他、銀ろう (JIS規格Z3261)、銅ろうおよび黄銅ろう (JISZ3262)、アルミニウムろう (JISZ3263)、リン銅ろう (JISZ3264)、ニッケルろう (JISZ3265)、金どう (JISZ3266)、パラジウムろう (JISZ3267)等も使用することができる。

【0017】次に、請求項3に記載の発明は、圧電材料と該圧電材料に設けた電極よりなる圧電素子を製造する方法であって、上記電極としては金属電極を用い、上記圧電材料に対しろう材を介して金属電極を配置し、上記

ろう材の融点の $\pm 100^\circ\text{C}$ の温度範囲に保持することにより上記圧電材料に上記金属電極を接合することと特徴とする圧電素子の製造方法にある。温度がろう材の融点の $\pm 100^\circ\text{C}$ の範囲外である場合は、圧電材料とろう材とが反応し、両者の間に界面反応物が生成し、圧電素子の圧電電荷センサ定数 d_{31} (圧電ひずみ定数)や電界誘起変位量等が小さくなるおそれがある。

【0018】この製造方法により、特に圧電材料に対し電極を直接設けることが可能となるため、積層型の圧電素子を製作する際に圧電材料間に電極用金属板等を配置する必要がなくなり、安価なコストで強度に優れた高信頼性の圧電素子を得ることができる。また、ろう材はガラス成分やBi等の不純物元素を含まないため界面反応物等が生じず、大きな圧電電荷センサ定数 d_{31} (圧電ひずみ定数)や電界誘起変位量等を持つ圧電素子を得ることができる。また、上述の温度範囲においてろう材より電極を直接形成しているため、ろう材と圧電材料との反応が生じ難く界面反応物等が生じず、大きな圧電電荷センサ定数 d_{31} (圧電ひずみ定数)や電界誘起変位量等を持つ圧電素子を得ることができる。

【0019】以上、本発明によれば、高い特性を持ち、圧電材料と電極との接合強度に優れて信頼性が高く、製作コストが安価で製作容易である圧電素子の製造方法を提供することができる。

【0020】なお、上記ろう材としては前述したものと同様のろう材を使用することができる。また、上記金属電極としては、Cu電極の他、ニッケルシルバー、リン青銅、マンガニン、銅ニッケル、ベリリウム銅、真鍮等を使用することができる。

【0021】

【発明の実施の形態】実施形態例1

本発明の実施形態例にかかる圧電素子の製造方法につき説明する。本例にかかる製造方法は、圧電材料と該圧電材料に設けた電極とよりなる圧電素子を製造する方法であって、上記電極としてはCu電極を用い、該Cu電極と上記圧電材料とを接触させた状態で $500\sim700^\circ\text{C}$ の温度範囲に保持することにより両者を直接接合するものである。

【0022】以下詳細に説明する。LaとNbとを添加した $Pb(Zr_{0.5}Ti_{0.5})O_3$ を 1200°C で焼結した後、得られた焼結体をダイヤモンドバッド#600番で研磨して、直径20mm、厚み $500\mu\text{m}$ の試料片を作成した。この試料片を本例の圧電材料として利用する。

【0023】本例にかかる製造方法について詳細に説明する。Cu電極として、純度99.9%で厚み $40\mu\text{m}$ の銅箔を用いた。上記銅箔を試料片の上下に貼着した後、真空度 1.333 Pa で 500°C から 1000°C の間の所定の処理温度(500°C , 600°C , 700°C , 750°C , 800°C , 900°C , 1000°C)の7種類、

図1及び図2のプロット点参照)まで200℃/時間で昇温した後、10分間保持し、上下のパンチ棒により荷重を10MPa加えて銅箔の加熱接合を行った。その後200℃/時間で室温まで温度を下げた。その後、シリコンオイル中で温度100℃で10分間、直流電圧2000V/mmを印加して、分極処理を施した。

【0024】次に、比較例にかかる製造方法による圧電素子について説明する。この圧電素子はAgペーストを焼きつけて作成した電極を持った圧電素子である。Agペーストは昭栄化学のPZT用銀電極H4510を用いた。上記Agペーストを#200番のメッシュで圧電材料にスクリーン印刷した後、空气中700℃で10分の熱処理を施して焼きつけた。その後、シリコンオイル中で温度100℃で10分間、直流電圧2000V/mmを印加して、分極処理を施した。

【0025】(静電容量、誘電損失、誘電率)シリコンオイル中で分極処理する前の各圧電素子をヒューレットパッカード社(以下HP社)製のインピーダンスアナライザーHP4194Aを用いて、周波数1KHzで測定し、静電容量については図1にかかる線図に、誘電損失については図2にかかる線図にプロットした。また、本例の製造方法にかかる圧電素子で処理温度が700℃であったもの(以下試料1とする)、比較例の製造方法にかかる圧電素子(以下比較試料C1とする)の誘電率、誘電損失について、表1に記載した。なお、静電容量が大きい場合、小さな体積で大きな静電容量を持つ小型で大容量のコンデンサ素子を得ることができる。また、誘電損失は電圧出力型加速度センサの電圧ノイズ源と関係があるため、誘電損失が小さければ小さい程、S/N比が大きく高感度の電圧出力型加速度センサを得ることができる。また、誘電率が大きい場合、小さな体積で大きな静電容量を持つ小型で大容量のコンデンサ素子を得ることができる。

【0026】(電気機械結合定数〔Kp〕、圧電電圧出力センサ定数〔g33〕)試料1及び比較試料C1をHP社製のインピーダンスアナライザーHP4194Aを用いて共振反共振法により直径方向振動モードを測定した。測定結果を表1に記載した。なお、電気機械結合定数〔Kp〕が大きい場合、昇圧比が大きく、電気変換損失が少ない、優れた圧電トランス素子を得ることができる。また、圧電電圧出力センサ定数〔g33〕は、圧電素子よりなる圧電型加速度センサの出力電圧に比例するため、g33が大きければ大きいほど感度の高い加速度センサを得ることができる。

【0027】(電界誘起変位量)試料1及び比較試料C1は、圧縮応力20MPaのもとで厚み1mmあたり400Vから2000Vの高電圧をサイン波で、0.01Hzで印加したときの変位量をレーザー変位計で測定した。測定結果を表1に記載した。なお、電界誘起変位量が大きい場合、小型で大きな変位量を生ずる優れた

圧電アクチュエータ変位素子を得ることができる。

【0028】以下、測定結果について説明する。図1の線図から本例及び比較例にかかる製造方法による圧電素子の静電容量と処理温度との関係が分かる。つまり、本例にかかる製法において、Cu電極と圧電材料とを接合する際の温度が800℃を越えると静電容量が大きく低下することが分かった。これはCuと圧電材料との界面に誘電率の低い物質が生成するためと考えられる。また、従来品であるAgペーストからなる電極を設けた圧電素子と同程度の静電容量を確保するためには、接合の温度を500℃~700℃とする必要があることが分かった。また、同図より接合の温度が600℃である場合に従来のAgペーストの電極を持った圧電素子と同程度の静電容量が得られることが分かった。

【0029】次に、図2の線図から本例及び比較例にかかる製造方法による圧電素子の誘電損失と処理温度との関係が分かる。つまり、本例にかかる製法において、Cu電極と圧電材料とを接合する際の温度が800℃を越えると誘電損失が大きく上昇することが分かった。また、従来品であるAgペーストからなる電極を設けた圧電素子と同程度の誘電損失を維持するためには、接合の温度を500℃~700℃とする必要があることが分かった。また、同図より接合の温度が600℃である場合に従来のAgペーストの電極を持った圧電素子と同程度の誘電損失が得られることが分かった。

【0030】表1より知れるごとく、電気機械結合係数Kpは比較試料C1と試料1は、68%以上の高い値を持つことが分かった。また、比較試料C1と比べて試料1のほうがg33が大きかった。圧電加速度センサの出力電圧はg33に比例するので、本例にかかる製造方法より得た圧電素子を利用することで、Agペーストよりなる電極の従来圧電素子よりも感度の高い圧電加速度センサを得ることができる。

【0031】また、比較試料C1と試料1の誘電損失は同等の大きさの約2%であった。本例にかかる製造方法により得た圧電素子を利用することで、ノイズの小さな圧電型加速度センサが作成可能であることが分かった。

【0032】また、比較試料C1と比べて試料1は電界誘起変位量が大きかった。本例にかかる製造方法により得た圧電素子を利用することで、変位量の大きな圧電アクチュエータ変位素子が作成可能であることが分かった。

【0033】(接合強度)また、本例にかかる製造方法による圧電素子に対し粘着テープを用いた引き剥がし試験を行った。その結果、400℃で接合したものはCu電極がはがれてしまったが、600℃以上の接合でははがれなかった。

【0034】本例にかかる作用効果について説明する。本例の製造方法により、特に圧電材料に対し電極を直接接合することが可能となるため、積層型の圧電素子を製

作する際に圧電材料間に電極用金属板等を配置する必要がなくなり、安価なコストで強度に優れた高信頼性の圧電素子を得ることができる。また、上述の温度範囲においてCu電極を直接接合しているため、Cuと圧電材料との間での相互反応を防止することができ、誘電損失が小さく、電界誘起変位量が高い特性に優れた圧電素子を得ることができる。

(表1)

	温度 (℃)	時間 (分)	Kp (%)	g33 ($10^{-3}V_m/N$)	誘電率	誘電損失 (%)	電界誘起変 位量(μm)
比較試料C1	700	10	69.6	21.5	3212	2.05	0.37
試料1	600	10	68.2	21.9	2919	2.10	0.39

【0037】実施形態例2

本例は圧電材料に対しろう材を配置し、該ろう材の融点の±100℃の温度範囲に維持することにより上記ろう材より電極を圧電材料に対し直接形成することで製造する圧電素子について説明する。

【0038】本例で使用する圧電材料は実施形態例1と同じものである。ろう材として、ろう材金属粉末をペースト状にしたAg79%Cu21%組成のろう材であるBAg8を用いた。融点は780℃である。このろう材ペーストを#200番のメッシュで圧電材料にスクリーン印刷した後、真空中(1.333Pa)700℃または800℃で10分の熱処理を施してろう材を圧電材料に溶融付け(800℃)または拡散接合(700℃)させることで電極を形成した。その後シリコンオイル中で、温度100℃で10分間、直流電圧2000V/mmを印加して、分極処理を施した。

【0039】得られた圧電素子で、800℃で溶融付けしたものを試料2、700℃で拡散接合したものを試料3とする。これら試料2、試料3にかかる圧電素子のKp、誘電率、誘電損失、電界誘起変位量を実施形態例1と同様の方法で測定し、表2に記載した。また、圧電電荷センサ定数d31(圧電ひずみ定数)の測定は、HP社製のインピーダンスアナライザHP4194Aを用いて共振反共振法により、直径方向振動モードを測定した。この結果も表2に記載した。また、実施形態例1にかかる比較試料C1の測定値も比較のために表2に記載した。

【0040】表2より知れるごとく、比較試料C1と試料2、3はほぼ同じ大きさの電気機械結合定数Kpを有

(表2)

	温度 (℃)	時間 (分)	Kp (%)	d31 (pm/N)	誘電率	誘電損失 (%)	電界誘起変 位量(μm)
比較試料C1	700	10	69.6	273.5	3212	2.05	0.37
試料2	700	10	69.1	277.5	3293	2.04	0.37
試料3	800	10	67.9	293.0	3776	2.03	0.38
試料4	700	10	68.2	275.8	3297	2.46	0.41

【0046】実施形態例3

本例は電極としては金属電極を用い、圧電材料に対しろう材を介して金属電極を配置し、上記ろう材の融点の±

【0035】以上、本例によれば、高い特性を持ち、圧電材料と電極との接合強度に優れて信頼性が高く、製作コストが安価で製作容易である圧電素子の製造方法を提供することができる。

【0036】

【表1】

することが分かった。

【0041】また、比較試料C1と比べて試料2、試料3のほうがd31が大きかった。電荷あるいは電流出力型圧電加速度センサの出力電圧は圧電電荷センサ定数d31に比例するので、本例にかかる製造方法より得た圧電素子を利用することで、Agペーストよりなる電極の従来圧電素子よりも感度の高い電荷あるいは電流出力型圧電加速度センサが作成可能となることが分かった。更に、700℃の拡散接合より、800℃の溶融ろう付けのほうが、より感度の高い電荷あるいは電流出力型圧電加速度センサが得られることが分かった。

【0042】また、比較試料C1に対して、試料2、試料3は大きな誘電率となった。また、700℃の拡散接合により、800℃の溶融ろう付けの方が大きな誘電率であり、より小型で大容量のコンデンサ素子が作成可能であることが分かった。

【0043】また、比較試料C1と試料2、試料3は同等の誘電損失であった。誘電損失は電圧加速度センサのノイズ源であるので、拡散接合、溶融、ろう付け接合によりノイズの小さいセンサが作成可能であることが分かった。

【0044】また、比較試料C1に対して、試料2、試料3は同等以上の大きさの電界誘起変位量であることが分かった。拡散接合および溶融ろう付け接合により変位量の大きな圧電アクチュエータ素子が作成可能であることが分かった。

【0045】

【表2】

100℃の温度範囲に保持することにより上記圧電材料に上記金属電極を接合することで作製した圧電素子について説明する。

【0047】以下、詳細に説明する。本例で使用する圧電材料は実施形態例1と同じものである。ろう材として、ろう材金属粉末をペースト状にしたAg79%Cu21%組成のろう材であるBAg8を用いた。融点は780℃である。このろう材ペーストを#200番のメッシュで圧電材料の上下の面にスクリーン印刷した後、厚み10μmの銅金属箔よりなる金属電極をろう材上に配置した。このものに対し、銅金属箔に対し荷重10MPaを付与し、1.333Paの真空中700℃で10分間熱処理を施した。これにより、圧電材料と金属電極をろう材により接合した。その後シリコンオイル中で、温度100℃で10分間、直流電圧2000V/mmを印加して、分極処理を施した。得られた圧電素子を試料4とする。

【0048】この試料4にかかる圧電素子のKp、誘電率、誘電損失、電界誘起変位量を実施形態例1と同様の方法で測定し、表2に記載した。また、圧電電荷センサ定数d31(圧電ひずみ定数)の測定を、実施形態例2と同様に行い、結果を表2に記載した。

【0049】表2より知れるごとく、比較試料C1と試料4は同等の大きさの電気機械結合係数Kpを有することが分かった。

【0050】また、比較試料C1と比べて試料4のほうがd31が大きかった。電荷あるいは電流出力型圧電加

速度センサの出力電圧は圧電電荷センサ定数d31に比例するので、本例にかかる製造方法より得た圧電素子を利用することで、Agペーストよりなる電極の従来圧電素子よりも感度の高い電荷あるいは電流出力型圧電加速度センサが作成可能となることが分かった。

【0051】また、比較試料C1に比べ試料4は大きな誘電率であった。これにより、本例にかかる製造方法により得た素子により、小型で容量の大きいコンデンサ素子が作成可能であることが分かった。

【0052】また、比較試料C1に対し、試料4は大きな電界誘起変位量であった。本例にかかる製造方法により、小型で変位量の大きい圧電アクチュエータ変位素子が作成可能となることが分かった。

【0053】

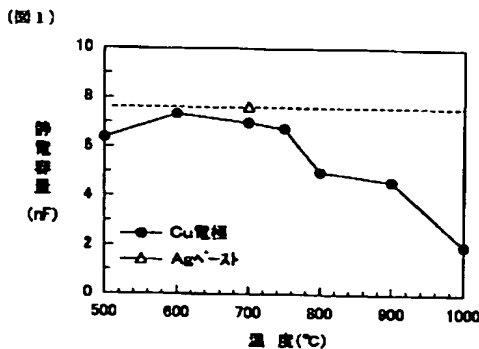
【発明の効果】上述のごとく、本発明によれば、高い特性を持ち、圧電材料と電極との接合強度に優れて信頼性が高く、製作コストが安価で製作容易である圧電素子の製造方法を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

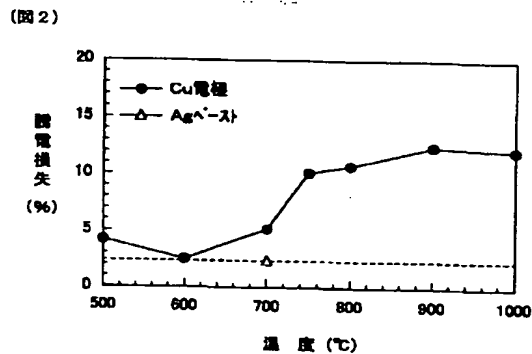
【図1】実施形態例1における、製造時の温度と静電容量との関係を示す線図。

【図2】実施形態例1における、製造時の温度と誘電損失との関係を示す線図。

【図1】



【図2】



フロントページの続き

Fターム(参考) 4G026 BA02 BB22 BB28 BF15 BF16
BF17 BF18 BF20 BF22 BF44
BG02 BG22 BH09